
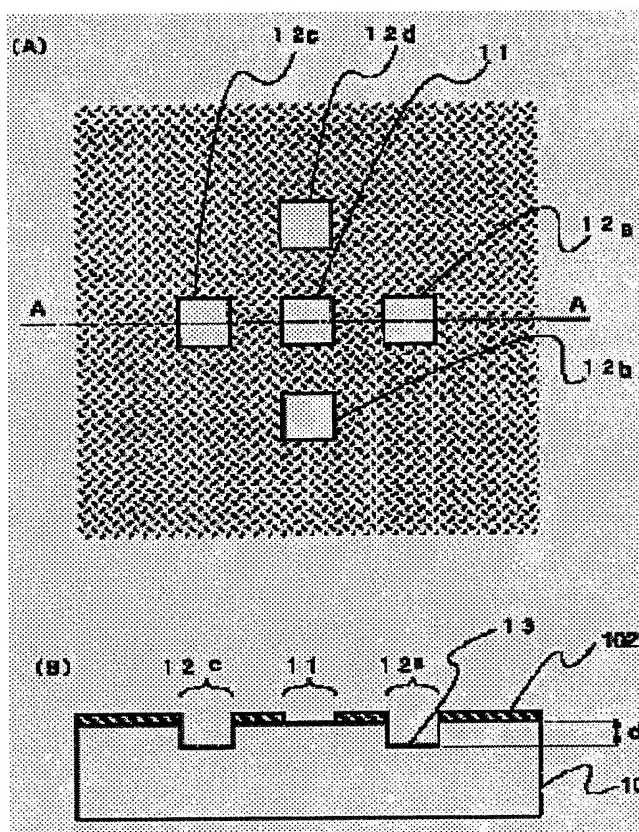


**PHOTOMASK****Patent number:** JP10239827**Publication date:** 1998-09-11**Inventor:** YASUSATO TADAO; ISHIDA SHINJI**Applicant:** NIPPON ELECTRIC CO**Classification:****- international:** G03F1/00; G03F1/14; G03F1/00; G03F1/14; (IPC1-7): G03F1/08**- european:** G03F1/00G; G03F1/14G**Application number:** JP19970046340 19970228**Priority number(s):** JP19970046340 19970228**Also published as:** US6004699 (A)[Report a data error here](#)**Abstract of JP10239827**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a photomask for forming a fine pattern in which the focal depth of a main pattern is enlarged as much as possible, and which facilitates the manufacture and inspection of an auxiliary pattern mask by using the auxiliary patterns in almost same size as the main pattern. **SOLUTION:** Four auxiliary patterns 12a to 12d in almost same size as the main pattern are arranged around the main pattern 11. By arranging the auxiliary patterns 12a to 12d in almost the same size as the main pattern 11 in such a way, the focal depth is enlarged especially at the exposure using deformable illumination. Besides, the transparent substrate 101 for the auxiliary patterns 12a to 12d is etched as deep as the phase difference of 360 deg., and owing to the effect of the side wall part, the auxiliary patterns 12a to 12d are prevented from being transferred.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-239827

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月11日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 3 F 1/08

識別記号

F I

G 0 3 F 1/08

A

D

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願平9-46340

(22) 出願日

平成9年(1997) 2月28日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 安里 直生

東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内

(72) 発明者 石田 伸二

東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内

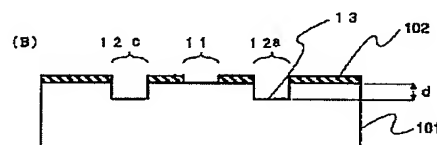
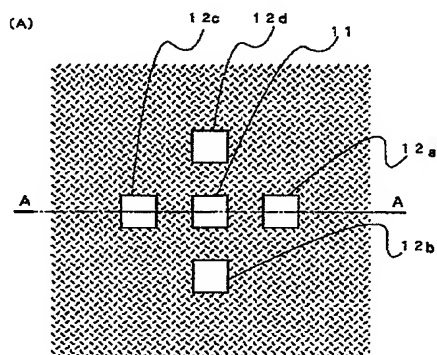
(74) 代理人 弁理士 宮越 典明

(54) 【発明の名称】 フォトマスク

(57) 【要約】

【課題】 微細パターン形成用フォトマスクであって、メインパターンと略同寸法の補助パターンを用いることにより、メインパターンの焦点深度を最大限に拡大し、また、補助パターンマスクの製造・検査を容易にするフォトマスクを提供すること。

【解決手段】 メインパターン11の周辺に、このメインパターン11と同寸法の補助パターン12a~12dが4つ配置されている。このようにメインパターン11と同寸法の補助パターン12a~12dを配置することにより、特に変形照明を用いた露光での焦点深度を拡大する。また、補助パターン12a~12dの透明基板101は、位相差360度相当の深さにエッチングされ、この側壁部の効果により、補助パターン12a~12dの転写が防止される。



11: メインパターン  
12: 補助パターン  
13: エッチング段差部  
101: 透明基板  
102: 波光膜

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 透明基板上の遮光膜に開口されたメインパターンと、該メインパターンの周辺に配置された補助パターンとを有するフォトマスクにおいて、前記補助パターン部分の前記透明基板は、露光光に“360度の $k$ 倍”( $k$ は“0”以外の整数)の位相差を生じさせる深さにエッチングされていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 2】 前記補助パターンの幅は、前記メインパターンの幅の0.7倍以上であることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 3】 透明基板上に、透過光に180度の位相差を生じさせる半透明膜が成膜されたフォトマスクにおいて、前記半透明膜には、結像面上に転写されるメインパターンと、該メインパターンの周辺に結像面上では転写されない補助パターンとが開口され、かつ前記メインパターンの透過光と前記補助パターンの透過光に“360度の $k$ 倍”( $k$ は“0”以外の整数)の位相差を生じさせる深さに、前記補助パターン部分の前記透明基板がエッチングされていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 4】 前記補助パターンの幅は、前記メインパターンの幅の0.7倍以上であることを特徴とする請求項 3 に記載のフォトマスク。

【請求項 5】 透明基板上の遮光膜に開口されたメインパターンを有し、該メインパターンの周辺に補助パターンが配置されたフォトマスクにおいて、前記補助パターン部の前記透明基板は、露光光に“180度の $(2k+1)$ 倍”( $k$ は整数)の位相差を生じさせる深さにエッチングされ、かつ前記補助パターンの幅は、前記メインパターンの幅の0.7倍以上であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 6】 前記エッチングされた透明基板のエッチング部側壁は、前記補助パターンの輪郭部近傍に位置し、前記側壁の効果により光強度を低下させ、前記補助パターン部の転写を防止していることを特徴とする請求項 1～5 のいずれかに記載のフォトマスク。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、投影露光装置用のフォトマスクに関し、特に、半導体製造工程で微細パターンを形成するために用いられるフォトマスクに関する。

## 【0002】

【従来の技術】現在、半導体素子の製造工程においては、半導体基板上にパターンを形成するために、主に光リソグラフィ技術が用いられている。光リソグラフィでは、縮小投影露光装置によりフォトマスクのパターンを、感光性樹脂の塗布された半導体基板上に転写し、現像により感光性樹脂の所定のパターンを得ることができる。(なお、フォトマスクは、透明領域と遮光領域とからなるパターンが形成された露光用基板であり、縮小率が1:1でない場合、特に“レチクル”とも呼ばれているが、ここでは、いずれも“フォトマスク”と呼ぶ。)

【0003】これまでの光リソグラフィ技術においては、主に露光装置の開発、とりわけ投影レンズ系の高NA化により半導体素子パターンの微細化へ対応してきた。ここで“NA(開口数)”とは、レンズがどれだけ広がった光を集められるかに対応し、この値が大きいほどより広がった光が集められ、レンズの性能は良いことになる。

【0004】また、一般にレーレー(Rayleigh)の式として良く知られているように、限界解像度 $R$ (解像できる限界の微細パターンの寸法)とNA(開口数)とは、

$$R = K_1 \times \lambda / NA$$

(ここで、 $K_1$ は、感光性樹脂の性能等のプロセスに依存する定数)の関係があり、NA(開口数)を大きくするほど、限界解像度 $R$ は、より微細になってきていた。

【0005】しかし、露光装置の高NA化により解像力は向上するものの、逆に焦点深度(焦点位置のずれが許容できる範囲)は減少し、この焦点深度の点で、更なる微細化が困難となってきた。ここでも、実際の物理的説明を省略するが、前記と同様、レーレーの式として焦点深度DOFとNAとは、

$$DOF = K_2 \times \lambda / NA^2$$

(ここで、 $K_2$ は、プロセスに依存する定数)の関係が成り立つことが知られている。即ち、NAを大きくするほど、焦点深度は狭くなり、僅かな焦点深度のずれも許容できなくなる。

【0006】そこで、様々な超解像手法が検討されるようになってきた。一般に、超解像手法とは、照明光学系、フォトマスクおよび投影レンズ系瞳面における「透過率および位相」を制御することにより、結像面での光強度分布を改善する手法である。

【0007】ところで、各種超解像手法のなかでも、照明光学系の最適化による解像特性の向上、いわゆる“変形照明法”は、実現性が高く近年特に注目を集めている。ここで、この“変形照明法”について説明するが、それに先立って、まず通常の露光装置(一般には、“ステッパー”と呼ばれている)の照明光学系に関して簡単に説明する。

【0008】半導体素子形成のためのリソグラフィ工程において、半導体基板の露光領域全面で形成されるパターン寸法を制御するためには、フォトマスク上の露光領域全面が均一な強度で照明される必要がある。そのため、通常の露光装置では、光源である水銀ランプから出た光を、コールドミラー、干渉フィルターなどを通して単一波長とした後に、照度均一性を得るための光学素子であるフライアイレンズに導いている。

【0009】フライアイレンズは、同型の単体レンズを複数並列に束ねた光学素子であり、フライアイレンズの

各単体レンズがそれぞれ焦点を結び、独立した点光源を形成し、この点光源群でフォトマスクを照明することにより、フォトマスク上の照度均一性を向上させている。

(この点光源群は、水銀ランプを1次光源と呼ぶのに対して、2次光源と呼ばれることもある。)

また、このようにフライアイレンズを通して照明すると、おおもとの光源である水銀ランプでの発光状態は、フォトマスクの照明状態には関係がなくなる。つまり、このフライアイレンズで形成される点光源の形状および強度分布のみが、実質的にフォトマスクの照明状態を決定し、露光特性に影響を及ぼしている。従って、この点光源群は“有効光源”とも呼ばれている。

【0010】そして、この有効光源の形状を制御し解像特性を改善する手法が、一般に“変形照明法あるいは斜入射照明法”と呼ばれる超解像手法である。この有効光源の形状を変化させる手段としては、通常、フライアイレンズの直後に様々な形状の絞りあるいはフィルタを配置している。なお、この手法は、有効光源の形状(絞りの形状)により区別され、たとえば、絞りの中央部を遮光してリング型の照明光源を用いる照明法は“輪帯照明法”と呼ばれ、また、周辺の4隅のみ開口した絞りをを用いる照明法は“4点照明法”と呼ばれている。

【0011】次に、この変形照明法の効果について、図20を参照して説明する。なお、図20は、変形照明法の原理を説明する図であって、露光装置の主要光学系を示す図である。通常の照明方法では、図20(a)に示すような円形開口の絞り202aが用いられ、このとき、同図(b)に示すように、フォトマスク210にほぼ垂直に入射する光が存在する。

【0012】フォトマスク210のパターンを解像するためには、最低でもその回折光のうち、0次光と+1あるいは-1次光を集めることが必要であるが、パターンが微細になると、回折角が大きくなり、投影レンズ系203に入らなくなる。そのため、微細パターンにおいては、垂直に入射する光は、解像には寄与しないノイズ成分となり、像面での光強度分布のコントラストを低下させてしまうことになる。

【0013】しかし、図20(c)に示すようなリング形の開口部を有する絞り202bを用いると、同図(d)に示すように、フォトマスク210に斜めからのみ光が入射し、+1あるいは-1次回折光のいずれかが投影レンズ系203に入るようになり、照明光の大部分がパターンを解像させるのに役立つようになる。このように、照明光のうち解像に寄与しない垂直入射成分を除去することにより、解像度および焦点深度を向上させることができる。(なお、図20中の符号201は、フライアイレンズであり、204は半導体基板である。)

【0014】ただし、上述したように、変形照明法は、回折光が生じるような周期パターンに対して有効であり、孤立パターンには全く効果がないものである。そこ

で、この孤立パターンに対しては、特開平4-268714号公報に開示されているように、パターン周辺に解像しない微細パターン(以下、この微細パターンを“補助パターン”という)を配置し、周期性を持たせる手法が提案されている。

【0015】ここで、補助パターンの一例を図21を用いて説明する。なお、図21は、従来の補助パターンを示す図であって、(A)は、その平面図であり、(B)は、(A)のA-A線縦断面図である。ここでは、縮小率=1/5(フォトマスク上のパターン寸法:結像面上のパターン寸法=5:1)、開口数NA=0.55、コヒーレンスファクター $\sigma=0.8$ のKrFエキシマレーザー露光装置を用いるものとし、また、結像面(半導体基板面)上に形成するパターンは、 $0.2\mu\text{m}$ の孤立ラインとする。

【0016】従来の補助パターンは、図21の(A)、(B)に示すように、石英製の透明基板101上に、クロム(膜厚70nm)および酸化クロム(膜厚30nm)の遮光膜102が形成されており、この遮光膜102に、幅 $W_1=1.00\mu\text{m}$ のメインパターン111(孤立ラインパターン)が形成されている。そして、このメインパターン111の左右に、間隔 $D=1.25\mu\text{m}$ 離れて、同様に遮光膜102に幅 $W_2=0.5\mu\text{m}$ の補助パターン112が形成されている。なお、ここで間隔Dは、パターンのピッチが $0.2\mu\text{m}$ のラインアンドスペースパターンと等しくなるように設定され(結像面上ピッチ $0.4\mu\text{m}$ :フォトマスク上 $2.0\mu\text{m}$ )、また、補助パターン112の幅 $W_2$ は、補助パターン112が解像しない幅に設定されている。

【0017】この補助パターン112の幅 $W_2$ は、より大きい方が効果が大きいことは明らかであるが、補助パターン112自体が半導体基板上に転写されてしまうと、半導体素子の機能に悪影響を及ぼす。従って、フォトマスク作製の誤差による“補助パターン幅 $W_2$ の変動”およびこのフォトマスクを使用した露光の際の“露光量変動”などの様々な要因を考慮して、補助パターン112が解像しないように設定する必要がある。そして、このような補助パターン112を有するフォトマスクを用いると、孤立パターン(メインパターン111)の焦点深度を拡大することができ、また、特に変形照明法と組み合わせることにより、さらに焦点深度が拡大できる。

【0018】上記した変形照明法の他にも、フォトマスク側の改善による超解像手法である“位相シフトマスク”の検討も盛んに行われている。位相シフトマスクとしては、渋谷ーレベンソン(Levenson)方式、即ち「周期的なパターンにおいて、透明領域を透過する光の位相を交互に180度変える方式」が、初めに提案された(特開昭62-50811号公報参照)。

【0019】ここで、渋谷ーレベンソン方式の位相シフトマスクについて、図22を用いて説明する。なお、図22は、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクの一例を示す図であって、同図の(A)は、該マスクの平面図で

あり、(B)は、(A)のA-A線縦断面図であり、(C)は、該マスクの透過光の振幅分布を示す図である。

【0020】この位相シフトマスクは、図22の(A)、(B)に示すように、透明基板101上に遮光膜102が成膜され、その遮光膜102を選択的に除去することにより、周期的に開口パターン114が形成されている。そして、これらの開口パターン114には、1つおきに透明膜104が配置されている。光の波長 $\lambda$ は、伝場する物質中では“ $\lambda/n$  ( $n$ は物質の屈折率)”となるので、空气中( $n=1$ )と透明膜104を透過する光には、位相差が生じる。そして、透明膜の膜厚 $t$ を“ $t=\lambda/2(n_1-1)$ ” ( $\lambda$ :露光光の波長、 $n_1$ :透明膜の屈折率)とすることにより、その位相差を180度としている。

【0021】従って、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクの“透過光の振幅分布”は、図22の(C)に示すように、交互に位相が反転した分布となり、この振幅分布の周期は、本来の2倍になる。そのため、このマスクの回折光の回折角は、通常の $1/2$ となり、従来の限界解像度以下のパターンも、この回折光を投影レンズで集めることができる。そして、この位相が反転した光同士の干渉により、隣接開口部の間では、光強度が低下し、微細パターンを分離することが可能となる。

【0022】この透明膜104は、位相シフターと呼ばれ、シリコン酸化膜( $\text{SiO}_2$ )が通常用いられている。そのため、透明基板101(合成石英: $\text{SiO}_2$ )と選択的にエッチングすることができず、位相シフターと透明基板との間には、エッチングストッパーが必要であった。

【0023】ところで、露光光の波長が水銀ランプのg線(436nm)やi線(356nm)に対しては、透過率が100%に近く、かつ耐光性のあるエッチングストッパー材料が存在しているが(たとえば酸化錫等)、KrFエキシマレーザー光(248nm)に対しては、適当なエッチングストッパー材料がなかった。そのため、通常、マスクの上に位相シフターを配置するのではなく、透明基板自体をエッチングすることにより、位相差を生じさせる構造のものがKrF露光用に検討されてきている。この構造については、例えば特開平7-77796号公報などに示されている。

【0024】ここで、透明基板自体をエッチングしてなる位相シフトマスク(レベンソン方式位相シフトマスク)の構造について、図23を参照して説明する。なお、図23は、この種の位相シフトマスクの断面図である。この種の位相シフトマスクは、図23に示すように、透明基板101をエッチングし、基板段差(エッチング段差部113)を位相シフターとして利用する構造のものである。

(図中、114は開口パターンであり、102は遮光膜である。)

【0025】この図23に示す構造の位相シフトマスクは、エッチングストッパーを用いないので、KrF露光や更に短波長の露光光(ArFエキシマレーザー)に対し

ても適用できる。また、エッチングストッパーおよび位相シフターの成膜工程がないため、欠陥の発生が低減できる等の利点がある。

【0026】しかし、実際にこの構造のレベンソン方式位相シフトマスクを用いてパターンを転写すると、大きな問題が生じた。これは、隣接する開口パターン114の一方をエッチングすると、結像面上では、透明基板101をエッチングした部分(エッチング段差部113)の光強度が低下し、隣接パターン間で寸法差が生じるという現象であった。

【0027】この現象が確認されてから、実験およびシミュレーションで検討が進み、これは、透明基板101の段差部側壁の近傍での位相変化が原因であることが判っている。即ち、透過光の位相は、エッチング部の側壁を境に“0度-180度”に完全に分かれるのではなく、側壁近傍では、その中間の位相となる領域が存在する。また、実際には、マスクに斜めに入射する光もあるので、段差部側壁では、反射等も起こり、一層複雑な位相変化が生じている。そして、この位相が複雑に変化した部分が、結像面上で開口部の光強度を低下させることになる。

【0028】そこで、この問題を解決するために、例えば特開平4-215786号公報に開示されているように、段差側壁を遮光膜の下に隠す手法が提案されている。このマスクの構造を図24に示す。この図に示すように、開口部(開口パターン114)のエッジから基板段差部(エッチング段差部123)の側壁を $0.1\mu\text{m}$ 程度離すことにより、位相の乱れた部分の光は、すべて遮光膜102で止められ、位相が180度変化した光のみが、開口部を通過するようにできる。なお、この構造は、透明基板101を $\text{CHF}_3$ などのガスで異方性エッチングした後、バッファードフッ酸などで等方性エッチングすることで製造することができる。

【0029】また、上記のレベンソン方式位相シフトマスクは、密集した繰り返しパターンにしか適用できなかったもので、その後さらにいくつかの方式が提案された。特に孤立したパターンに適用するため、補助パターン方式が提案されている(例えば特開昭62-675145号公報参照)。この補助パターン方式も、先に説明した通常の補助パターンを有するフォトマスクと同様に、解像しない微細パターンを設けた方式である。そして、メインパターンとこの補助パターン部分の光の位相を反転させて、位相シフト法の効果を持たせている。

【0030】ここで、孤立パターンに有効な“補助パターン方式位相シフトマスク”について、図25を用いて説明する。なお、図25は、従来の補助パターン方式位相シフトマスクを示す図であって、(A)は、その平面図であり、(B)は、(A)のA-A線縦断面図である。

【0031】従来の補助パターン方式位相シフトマスクは、図25の(A)、(B)に示すように、透明基板101上

の遮光膜102に、幅 $W_1=1.00\mu\text{m}$ のメインパターン111が開口している。そして、そのメインパターン111の左右に、間隔 $D=1.25\mu\text{m}$ 離れて、幅 $W_2=0.5\mu\text{m}$ の補助パターン112が形成されている。さらに、この補助パターン112上に透明膜104が形成され、メインパターン111と補助パターン112の透過光に180度の位相差を生じさせている。

【0032】一方、マスク設計・製造が簡単な方式として、ハーフトーン方式が提案されている(例えば特開平2-256985号公報参照)。ハーフトーン方式は、開発当初は主にホールパターン用に検討が進められたが、その後、変形照明法と組み合わせることで、一般のライン系パターンにも効果があることも判明している。

【0033】ここで、ハーフトーン方式位相シフトマスクについて簡単に説明すると、ハーフトーン方式とは、通常、マスクの遮光膜の代わりに半透明膜を用い、この半透明膜を透過する光とその周辺の透明領域を通過する光に、180度の位相差が生じるように設定した位相シフトマスクである。なお、半透明膜の材料としては、酸化窒化クロム、酸化窒化モリブデンシリサイドあるいはフッ化クロムなどが用いられ、その透過率は4~10%の範囲が一般的である。

【0034】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、従来の補助パターンを有するフォトマスクにおいては、解像限界以下の微細パターンが必要であるため、マスク作製が困難であるという問題点があった。例えば、 $KrF$ エキシマシーザー露光装置( $NA=0.55$ , コヒーレンスファクター $\sigma=0.8$ , 縮小倍率=5倍)においては、限界解像度は $0.2\mu\text{m}$ 以下であるので、補助パターンとしては、その半分の $0.1\mu\text{m}$ 程度のパターンが必要となる。これでは、フォトマスク上で $0.5\mu\text{m}$ のパターンとなり、現状のマスク描画装置で安定してパターン形成できる限界以下となってしまう。

【0035】通常、マスクパターン描画には電子線描画装置が用いられ、その限界解像度は、 $0.3\mu\text{m}$ 程度であるが、この電子線描画装置においては、パターン寸法により適正露光量が大きく異なる。そのため、メインのパターンに露光量を合わせると、補助パターンでは、露光量が足りず、寸法が大幅に細くなってしまう。補助パターンの寸法が細くなると、十分な焦点深度拡大効果が得られなくなる。一方、補助パターンに露光量を合わせると、メインパターン部では、オーバー露光となり、マスク寸法精度が悪化してしまう。

【0036】さらに、マスクパターンを何とかパターンニングしたとしても、次の検査工程で問題が生じてくる。即ち、マスク検査装置において、この補助パターンがすべて疑似欠陥として検出されてしまうという問題が生じる。そのため、実際には、検査装置の検出感度を下げ、補助パターン部分が検出されないようにして検査するし

がなく、その結果として、マスクの信頼性が極端に低下してしまうという欠点を有している。

【0037】また、前記した従来のハーフトーン方式位相シフトマスクにおいても、変形照明条件下では、孤立パターンの焦点深度拡大効果が得られないという問題があった。例えば、孤立ホールパターンに対して、小 $\sigma$ 値の照明条件で、ハーフトーンマスクで50%以上の焦点深度拡大効果が得られるが、輪帯照明条件下では、通常のマスクと同じ焦点深度しか得られない。

【0038】一般に、メインパターンの近傍に補助パターンを配置した、いわゆる“補助パターンマスク”においては、補助パターンの寸法が大きいほどメインパターンの露光特性(フォーカス特性、焦点深度など)を改善することができる。しかし、補助パターンの寸法が大きくなると、補助パターン自体が転写してしまう。そのため、従来、補助パターンの寸法としては、補助パターンが転写されない制限の範囲で最大寸法を選んでいた。

【0039】本発明は、従来の前記問題点、欠点を鑑みなされたものであって、その目的とするところは、メインパターンになるべく影響のないように“補助パターンの転写性”を低下させ、メインパターンとほぼ同寸法の補助パターンを利用可能とするフォトマスクを提供することにある。

【0040】また、本発明の他の目的は、補助パターンの寸法を大きくすることにより、メインパターンの露光特性の向上だけでなく、容易に製造することができるフォトマスクを提供することにある。(従来の補助パターンは、露光装置の限界解像度以下の微細パターンであったため、露光波長が短波長化され、解像力が高くなるにつれてマスク製造が困難になっていた。そのため、補助パターンマスクの作製・検査が非常に困難となっていた。本発明では、補助パターン寸法を大きくすることにより、補助パターンマスクの実用化を容易にするという目的も有している。)

【0041】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的とするフォトマスクを提供するため、本発明の第1のフォトマスクは、(1) 透明基板上の遮光膜に開口されたメインパターンと、該メインパターンの周辺に配置された補助パターンとを有するフォトマスクにおいて、

・前記補助パターン部分の透明基板は、露光光に“360度の $k$ 倍”(  $k$ は“0”以外の整数)の位相差を生じさせる深さにエッチングされている、ことを特徴とする(請求項1)。

【0042】また、本発明の第2のフォトマスクは、(2) 透明基板上に、透過光に180度の位相差を生じさせる半透明膜が成膜されたフォトマスクにおいて、

・前記半透明膜に、結像面上に転写されるメインパターンと、該メインパターンの周辺に結像面上では転写されない補助パターンとが開口され、かつ、前記メインパタ



ーンの透過光と前記補助パターンの透過光に“360度の $k$ 倍”( $k$ は“0”以外の整数)の位相差を生じさせる深さに、前記補助パターン部分の前記透明基板がエッチングされている、ことを特徴とする(請求項3)。

【0043】さらに、本発明の第3のフォトマスクは、(3)透明基板上の遮光膜に開口されたメインパターンを有し、該メインパターンの周辺に補助パターンが配置されたフォトマスクにおいて、

・前記補助パターン部の前記透明基板は、露光光に“180度の $(2k+1)$ 倍”( $k$ は整数)の位相差を生じさせる深さにエッチングされ、かつ前記補助パターンの幅は、前記メインパターンの幅の0.7倍以上である、ことを特徴とする(請求項5)。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について説明すると、本発明の第1のフォトマスクは、メインパターンの開口部の周辺に、メインパターンと略同寸法(メインパターンの幅の0.7倍以上)の補助パターンを設け、かつ、その補助パターン部を垂直に360度の位相差相当の深さにエッチングしてなるものである。

【0045】また、本発明の第2のフォトマスクは、ハーフトーン方式位相シフトマスクにおいて、メインパターンの開口の周辺に、メインパターンと略同寸法(メインパターンの幅の0.7倍以上)の補助パターンを設け、かつ、その補助パターン部分を360度の位相差エッチングしてなるものである。

【0046】さらに、本発明の第3のフォトマスクは、メインパターンの開口の周辺に、メインパターンと略同寸法(メインパターンの幅の0.7倍以上)の補助パターンを設け、かつ、その補助パターン部分を180度の位相差相当エッチングしてなるものである。

【0047】次に、本発明の上記第1～第3のフォトマスクについて、その作用を説明すると、一般に、補助パターン法においては、補助パターン寸法が大きいほどメインパターンの焦点深度を向上させる効果が高い。従って、本発明のフォトマスクのように、メインパターンと略同寸法の補助パターンを用いれば、メインパターンの焦点深度を最大限に拡大できる。ただし、このままでは補助パターン自体も転写されてしまうので、この補助パターンの転写については、透明基板をエッチングし、透明基板の段差部側壁を形成することで防止している。

【0048】透明基板に段差部を形成すると、その側壁近傍では、光の位相が急激に変化する領域ができる。そして、この位相が急激に変化した部分の光は、結像面上では、光強度を低下させる効果がある。そのため、従来のレベルソン方式位相シフトマスクにおいては、隣接パターンの寸法差をなくすため、この透明基板側壁の影響をなくす手法が検討されていた(例えば、ウェットエッチングを用いて側壁を遮光膜の下に後退させる)。

【0049】しかし、本発明のフォトマスクでは、この

効果を補助パターンの転写防止に用いている。この段差部側壁の影響は、その近傍にしか作用しないので、メインパターンの露光特性に大きな影響を及ぼすことなく、補助パターンの転写のみを防止することができる。また、単に補助パターンの転写防止するだけなら、補助パターン部のエッチング深さは適当で良いが、位相差と露光特性の関係を考慮して、360度の整数倍の位相差が生じるようにその深さを設定しているので、特に変形照明条件下で用いることにより、焦点深度をより拡大することができる。

【0050】本発明の第2のフォトマスクにおいては、変形照明条件下(輪帯照明、4点照明など)でのハーフトーンマスクを用いる場合の焦点深度を拡大することができる。孤立ホールパターンに対して、小 $\sigma$ 値の照明条件で露光できれば、ハーフトーンマスクの効果が十分得られ、焦点深度が拡大できる。

【0051】しかし、実際には、小 $\sigma$ 値の照明条件が使用できず、輪帯照明などの変形照明露光しなければいけない場合がある。これは、照明方法を変えると、レンズディストーション(転写像のXY平面内の位置ずれ)(Z方向のずれは“像面湾曲”と呼ばれている)が変化するためである。即ち、半導体素子の製造工程で、素子分離、ゲート等のライン系のパターンを露光するには、焦点深度の有利な輪帯照明が用いられる。そのため、コンタクトホールだけ照明系を小 $\sigma$ 値に切り替えて露光を行うと、重ね合わせができない場合がある。

【0052】照明方法を切り替えてディストーションが変化するのは、投影レンズの製造誤差のためであるので、この程度も投影レンズ個々で変わるが、最大50nmの変化の可能性もある。この分コンタクトホールのアライメント精度が悪化することになる。

【0053】一般には、コンタクトホールの必要アライメント精度は、100nm以内であるので、照明方法を切り替えただけで、その半分以上がとられることになる。従って、本発明の第2のフォトマスクでは、ハーフトーン方式位相シフトマスクにおいて、メインパターンと略同寸法の補助パターンを配置することで、変形照明使用時の焦点深度を拡大している。そして、補助パターンは、補助パターン部を位相差360度相当エッチングし、その側壁の効果で転写を防止している。

【0054】本発明の第3のフォトマスクにおいては、補助パターン方式位相シフトマスクにおいて、補助パターンの寸法をメインパターンとほぼ同じにすることで、補助パターンの効果が最大限に得られるようにしている。そして、補助パターン部は、エッチング部側壁の効果で転写を防止している。

【0055】

【実施例】次に、本発明に係るフォトマスクの実施例について、図1～図19に基づいて説明する。なお、図1～図12は実施例1を、図13は実施例2を、図14～

図19は実施例3を、それぞれ説明するための図である。

【0056】（実施例1）本実施例1では、露光装置として、縮小倍率＝5倍（マスクパターン寸法：結像面上パターン寸法＝5：1）、 $NA=0.55$ 、50%輪帯照明（最大 $\sigma=0.8$ のうち中心部分を $\sigma=0.4$ 相当遮光）のKrFエキシマレーザー露光装置を用いることとする。そして、 $0.18\mu m$ （結像面上）のホールパターンを形成するマスクを用いて説明する。

【0057】図1は、本発明の実施例1に係るフォトマスクを示す図であって、(A)は、該マスクの平面図であり、(B)は、(A)のA-A線縦断面図である。本実施例1のフォトマスクは、図1の(A)、(B)に示すように、合成石英からなる透明基板101上にクロムを主成分とする遮光膜102が成膜され、これを選択的に除去することにより $0.9\mu m$ 角の孤立ホールパターン（結像面上 $0.18\mu m$ ）（メインパターン11）が形成されている。

【0058】そして、このメインパターン11の4方に同じく $0.9\mu m$ 角のホールパターンが補助パターン2a～2dとして配置されている。メインパターン11（孤立ホールパターン）と補助パターン2a～2dとの間隔は $0.9\mu m$ である。また、図1の(B)に示すように、これら補助パターン部の透明基板101は、 $496nm$ の深さにエッチングされている（ $d=496nm$ ）。

【0059】本実施例1のフォトマスクは、エキシマレーザー光（波長＝ $248nm$ ）に対する透明基板101（合成石英）の屈折率が1.5であるので、この深さの段差で360度の位相差を生じさせることができる。

【0060】次に、本実施例1のフォトマスクの効果について説明する。図2に、このフォトマスクを用いて転写した感光性樹脂のパターン（実施例1のフォトマスクを用いて形成した $0.18\mu m$ ホールパターンのSEM写真）を示す。メインパターンが $0.18\mu m$ に開口する露光条件において、同寸法の補助パターンは解像していない（図2参照）。これは、主に先に述べた透明基板エッチング部側壁の影響である。

【0061】図3に、透明基板101のエッチング段差部13での光の位相を模式的に示す。該図から明らかなように、エッチング部側壁では、光の入射および反射が生じ、位相が乱れた（0度・360度以外の位相になった）領域ができる。このように、補助パターン外周部の位相が乱れた部分の光は、その他の補助パターン部分の位相が360度変化した光と干渉して光強度を低下させる。そのため、補助パターンの転写は防止される。

【0062】図4に、 $0.2\mu m$ ホールパターンに同寸法の補助パターンを配置した場合の感光性樹脂のパターン（SEM写真）を示す（マスク上は、メインパターン、補助パターンおよびその間隔とも $1.0\mu m$ ）。先の $0.18\mu m$ ホールでは、同寸法の補助パターンは殆ど転写されなかったが（前掲の図2参照）、この $0.2\mu m$ パターンでは、

図4から明らかなように、若干補助パターンの転写が生じている。ホールパターンを透過する光のエネルギー（強度）は、パターンの面積に比例し、一方、エッチング部側壁の光強度を低下させる効果は、パターンの辺の長さに比例するため、大きなパターンほどエッチング部側壁の影響が相対的に少なくなるためと考えられる。

【0063】従って、同寸法の補助パターンを配置することができるのは、本露光条件では、 $0.2\mu m$ が上限である。これ以上大きなメインパターンに本手法を適用する場合でも、補助パターンの寸法は、 $0.2\mu m$ としなければ補助パターンが解像されてしまう。露光条件を変えると、エッチング段差部側壁の影響も変化するので、この補助パターンの上限寸法は、使用する露光条件毎に確認が必要である。一般には、メインパターンの“0.7～1倍程度”の範囲で、補助パターンが転写されないようにその寸法を決定する。

【0064】なお、以上は、孤立したホールパターンをメインパターン11として、同寸法のホールパターンを補助パターン12a～12dとして、それぞれ配置する場合を説明したが（前掲の図1参照）、メインパターンおよび補助パターンは、これに限定されるものではない。

【0065】そこで、以下に、その他の適用例について、図5～図7に基づいて簡単に説明する。なお、図5～図7は、適用パターンの一例をそれぞれ示す図である。まず、図5に示すようなスペースパターン等でも同様に適用できる。この場合、ホールパターンより補助パターンは転写し易くなるので、補助パターンは、メインパターンより若干小さくする必要はある。（なお、図5中の符号11はメインパターン、12a、12bは補助パターン、13はエッチング段差部、101は透明基板、102は遮光膜である。）

【0066】即ち、ホールパターンでは、補助パターンに形成したエッチング部側壁の影響が4辺分生じるのに対して、図5に示すスペースパターンでは、エッチング部側壁の影響が2辺からしかないのである。そのため、 $0.2\mu m$ のスペース寸法に $0.2\mu m$ 離して、左右に同じく $0.2\mu m$ の補助パターンを形成したのでは、補助パターンの転写は、完全には防止できない。従って、 $0.2\mu m$ スペースパターンに対しては、補助パターン寸法は、 $0.18\mu m$ が上限であった。補助パターン寸法を $0.18\mu m$ としたとき、従来の微細補助パターン法で $0.12\mu m$ の補助パターンを配置した場合と同等の補助パターンの転写に押さえられた。

【0067】また、メインパターンは、完全に孤立したパターンでなく、繰り返しパターンの場合もある。例えば図6に示すように、一定のピッチでアレイ状に配置されたパターン（メインパターン11）の外周には、同じように同寸法の補助パターン12を配置し、この補助パターン12部分を360度相当エッチングする。周期パターンの最外周のパターンは、変形照明の焦点深度向上効果が弱



く、焦点を変化させていくと、最外周のパターンから解像しなくなる。そのため、図6のように補助パターン12を配置することで、全体的な焦点深度を拡大することができる。

【0068】また、図7に示すように、ある方向に周期性を持つパターンであっても、その他の方向に対して周期性の少ないパターンの場合、変形照明法の効果は少なく、焦点深度が狭くなる。この場合も、図7のように、補助パターン12(360度相当基板エッチングした補助パターン12)を配置し、各方向にも周期性のあるパターンとすることで、焦点深度を拡大することができる。

【0069】なお、補助パターンの転写を防止するだけでなく、補助パターン部に形成する段差は、180度以上なら問題ない。しかし、変形照明法を用いて焦点深度を向上させるためには、位相差は、360, 720, 1080度、……と、360度の倍数が望ましい。これは、メインパターン部の解像特性が補助パターン部の位相差で変化するためである。

【0070】図8、図9に、 $0.2\mu\text{m}$ ホールパターンの周辺に $0.2\mu\text{m}$ 補助パターンを配置したマスクの光強度分布を示す。ここで、この光強度分布は、市販のリソグラフィシミュレータ：Porlith/2(FINLE社：米国)を用いた。また、シミュレーション条件は、これまでと同じ「 $NA=0.55$ , 50%輪帯照明( $\sigma=0.4/0.8$ )」である。なお、ここでは、透明基板エッチング部の側壁の効果を考慮していないので、補助パターンの強度が大きくなっているが、実際には、この補助パターン部分は、側壁の効果で転写されない程度の強度が低下している。

(このように、2次元パターンに対して、マスクの立体構造を考慮するシミュレータは、まだ開発されていないので、正確に本フォトマスクの転写像をシミュレーションすることはできない。)

【0071】図8の(a)~(c)および図9の(d)には、補助パターンの位相差を“0~180度”に変化させたときの転写像の光強度分布を示しており、メインパターンの中心が横軸の0に位置している。また、比較として、図9の(f)に、通常の補助パターンを配置していない $0.2\mu\text{m}$ ホールの光強度分布を示している。

【0072】まず、図9の(f)に示す“補助パターンがない通常のマスク”では、デフォーカスの+/−に対して、対照的に光強度分布が変化する(デフォーカス=+0.5と−0.5は、同じ光強度分布のため、重なって表示されている)。しかし、図8の(b), (c)および図9の(d), (e)に示す位相差が“45~135度”の場合では、光強度分布は、デフォーカスの+/−で異なった変化を示す。また、デフォーカスによるパターンの寸法変化も大きくなるので、パターン寸法の制御の点では、位相差は180度の整数倍が望ましい。位相差“0度”と“180度”との光強度分布を比較すると、位相差“0度”の方が、像が急峻であることがわかる(図8(a), 図9(e)

参照)。

【0073】ここで、メインパターンの転写像の像質を、以下に定義する新コントラストを用いて評価する。

・新コントラスト=(最大光強度： $I_{\text{max}}$ )／(ベストフォーカスでのパターンエッジ位置の光強度： $I_{\text{edge}}$ )

【0074】このように定義した新コントラストの意味について、図10を参照して説明する。なお、図10は、新コントラストの定義に用いた $I_{\text{max}}$ および $I_{\text{edge}}$ を説明する図であって、フォトマスクとその転写像の光強度分布および感光性樹脂のパターンを示す図である。(図中の符号10はフォトマスク、101は透明基板、102は遮光膜、204は半導体基板、205は感光性樹脂を示す。)

【0075】まず、ベストフォーカスでのパターンエッジ位置での光強度： $I_{\text{edge}}$ を用いることは、ベストフォーカスで感光樹脂206のパターン寸法を目標寸法になるように露光量を設定することに対応している。そして、実際の感光性樹脂205のパターン形成過程(感光・現像工程)は複雑であるが、最も簡単には、光強度分布の最大位置から垂直に現像が進み、ボトムまで達した後、今度は水平に現像が進み、所定の寸法に開口すると考えることができる。

【0076】このため、 $I_{\text{max}}$ がある値以上であれば、感光性樹脂205は、ボトムまで現像されパターンが形成できると仮定できる。従って、目標寸法になるように $I_{\text{edge}}$ により露光量を設定したとき、新コントラスト( $I_{\text{max}}/I_{\text{edge}}$ )がある値以上であれば、感光性樹脂205は目標寸法に現像できると考えられる。

【0077】この感光性樹脂205にパターン形成が可能な新コントラストの値は、感光性樹脂205の性能に依存し、解像力の高いものほど新コントラストが低くてもパターンが形成できる。通常は、この限界値は1.6~1.4の範囲である。

【0078】図11に、この新コントラストと位相差(メインパターンー補助パターン)との関係を“デフォーカスの関係”として示す。ベストフォーカス(デフォーカス= $0\mu\text{m}$ )では、“0度”および“360度”のとき、新コントラストが最も高くなり、180度で最低となっている。従って、最も焦点深度を得るためには、位相差は、360度の整数倍が望ましいことになる。

【0079】図12に、通常のフォトマスク(補助パターン無し)と本発明のフォトマスク(位相差360度)との“新コントラストとデフォーカスの関係”を示す。該図から明らかなように、補助パターンにより新コントラストの値は向上し、例えば新コントラスト値が1.5以上でパターンが解像する感光性樹脂を用いると、焦点深度は、通常のフォトマスクの $\pm 0.2\mu\text{m}$ から $\pm 0.3\mu\text{m}$ に拡大する。

【0080】(実施例2)次に、本発明の第2のフォトマスクの実施例(実施例2)について、図13を用いて説

明する。なお、本実施例2においても、前記実施例1と同様の露光条件とし、マスクパターンは、 $0.18\mu\text{m}$ ホールパターンとする。

【0081】図13は、本発明の実施例2に係るフォトマスクを示す図であって、(A)は、その平面図であり、(B)は、(A)のA-A線断面図である。本実施例2のフォトマスクは、図13(A)、(B)に示すように、透明基板101上に半透明膜103が成膜され、結像面に転写されるメインパターン11として、マスク上一辺 $0.9\mu\text{m}$ (結像面上 $0.18\mu\text{m}$ )のホールパターンが形成されている。そして、このメインパターン11の周辺には、 $0.9\mu\text{m}$ 間隔をあけて、一辺 $0.9\mu\text{m}$ の補助パターン12a~12dが4個形成されている。

【0082】また、図13の(B)に示すように、半透明膜103は、 $120\text{nm}$ の酸化窒化クロムが用いられ、この半透明膜103を透過する光と透過しない光に $180$ 度の位相差を生じさせている。一方、補助パターン部の透明基板101は、 $248\text{nm}$ の深さにエッチングされており( $d=248\text{nm}$ :エッチング段差部13)、このエッチング部で $360$ 度の位相差を生じさせている。なお、ここでもメインパターン11と補助パターン12a~12dの位相差は、 $360$ 度の整数倍が望ましく、例えば倍の深さにエッチングし $720$ 度の位相差を付けても良い。

【0083】本実施例2においては、ハーフトーン位相シフトマスクと輪帯照明法を組み合わせ適用しているので、より焦点深度を向上できる。そして、周期性を与えるために、メインパターン11の周辺に配置した補助パターン12a~12dは、前記実施例1と同様、エッチング部側壁の効果により転写が防止されている。

【0084】なお、このようにハーフトーン位相シフトマスクに、本補助パターン手法を適用する場合も、露光条件、パターン形状(ホールまたはスペース)およびパターン寸法により、転写されない補助パターン寸法の上限は変化する。そのため、各条件で、メインパターンの $1\sim 0.7$ 程度の範囲でその上限値を確認することが必要である。ただし、一般的には、焦点深度が不足し、補助パターンが必要な解像限界に近い微細パターンに対しては、メインパターンと同寸法の補助パターンを配置することになる。

【0085】(実施例3) 次に、本発明に係るフォトマスクの実施例3について、図14を用いて説明する。なお、本実施例3では、 $NA=0.55$ 、 $\sigma=0.36$ のKrFエキシマレーザー露光装置を用いるものとし、結像面に転写するパターンは $0.2\mu\text{m}$ 孤立ホールパターンとする。

【0086】図14は、本発明の実施例3に係るフォトマスクを示す図であって、(A)は、その平面図であり、(B)は、(A)のA-A線断面図である。本実施例3に係るフォトマスクは、図14の(A)、(B)に示すように、石英製の透明基板101上にクロムの遮光膜102が成膜され、メインパターン11として、マスク上 $1\mu\text{m}$ (結像面上

$0.2\mu\text{m}$ )のホールパターンが形成されている。そして、そのメインパターン11から $1\mu\text{m}$ 離れて一辺 $1\mu\text{m}$ の補助パターン12a~12dの4つが配置されている。

【0087】また、図14(B)に示すように、補助パターン2a~2dの部分の透明基板101は、深さ $248\text{nm}$ エッチングされている( $n=248\text{nm}$ :エッチング段差部13)。従って、このエッチング部でメインパターン11と補助パターン12a~12dの透過光に $180$ 度の位相差が生じ、いわゆるレベンソン方式位相シフトマスクとなっている。

【0088】次に、本実施例3のフォトマスクの効果について、図15を参照して説明する。図15は、実施例3のフォトマスクを用いて転写した感光性樹脂パターン( $0.2\mu\text{m}$ ホールパターンのSEM写真)を示す図である。本実施例3のフォトマスクでは、前記実施例1と同様、補助パターン12a~12dは殆ど転写されず、メインパターン11のみが形成される。

【0089】また、本実施例3のフォトマスクは、レベンソン位相シフトマスクに近いので、解像度および焦点深度も前記実施例1以上に向上する。本露光条件では、 $0.2\mu\text{m}$ ホールの焦点深度は $1.2\mu\text{m}$ 得られ、 $0.16\mu\text{m}$ ホールパターンを解像することができた。なお、本実施例3のように小 $\sigma$ 値の照明条件では、補助パターンの位相差は $180$ 度(あるいはその“ $2k+1$ 倍”;  $k$ は整数)が望ましい。

【0090】図16、図17に、前記実施例1の前掲の図8、図9と同様、メインパターンと補助パターンの位相差を“ $0\sim 180$ 度”まで変化させたときの光強度分布を示す(デフォーカス= $0$ 、 $\pm 0.5\mu\text{m}$ )。図16、図17から明らかなように、位相差は $180$ 度で最もシャープな像が得られている。(なお、図17の(f)に、比較のため、通常マスクの場合を示す。)

【0091】また、図18に、新コントラストと位相差の関係を示す。該図から明らかなように、やはり、位相差 $180$ 度で最も大きな値が得られている。本露光条件のように、小 $\sigma$ 値の照明条件で、補助パターンとメインパターンの位相差が $180$ 度、 $540$ 度、……のときに、急峻な転写像が得られる。

【0092】図19に、通常フォトマスク(補助パターン無し)と本発明のフォトマスク(位相差 $180$ 度)の新コントラストとデフォーカスの関係を示す。ここでも、感光性樹脂にパターンが解像する条件を、新コントラストが $1.5$ 以上とすると、通常マスクで焦点深度が $\pm 0.23\mu\text{m}$ である。一方、本実施例3のフォトマスクでは、 $\pm 0.53\mu\text{m}$ と大幅に改善されている。

【0093】なお、このように、レベンソン位相シフトマスクに本補助パターン手法を適用する場合も、露光条件、パターン形状(ホールまたはスペース)およびパターン寸法により、転写されない補助パターン寸法の上限は変化する。そのため、各条件で、メインパターンの $1\sim$

0.7程度の範囲でその上限値を確認することが必要である。ただし、一般的には、焦点深度が不足し、補助パターンが必要な解像限界に近い微細パターンに対しては、メインパターンと同寸法の補助パターンを配置することになる。

【0094】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のフォトマスクは、メインパターンの周辺に、メインパターンと略同寸法の補助パターンを配置することにより、補助パターン法の効果を最大限に得ることができ、焦点深度を拡大する効果を有する。

【0095】補助パターン法においては、補助パターンの寸法が大きいほど、メインパターンの焦点深度を拡大することができたが、従来技術では、補助パターンの転写を防ぐため、メインパターンの半分程度の寸法の微細補助パターンが用いられていた。これに対して、本発明のフォトマスクでは、メインパターンと略同寸法の補助パターンを用いるため、補助パターン部の透明基板を360度の位相差相当エッチングし、この透明基板のエッチング部側壁の効果により、補助パターンの転写を防止している。ここで、透明基板のエッチング部側壁は、その極近傍の光しか影響を与えないので、メインパターンの転写像に大きく影響を及ぼすことなく、補助パターンの転写のみを防止できる。

【0096】また、本発明のフォトマスクでは、メインパターンと略同寸法の補助パターンを配置していることで、マスクの製造精度が向上するという利点も有している。即ち、マスクパターン描画の際に近接効果を補正することができる。電子線露光装置によるマスク描画では、同一パターンであっても、パターンの粗密により寸法差が生じることが知られている。しかし、本発明のフォトマスクでは、繰り返しパターンの最外周部あるいは孤立してパターンがある部分に、略同寸法の補助パターンを配置しているので、すべてのメインパターンが同じ描画条件になり、近接効果分のマスク製造誤差をなくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るフォトマスクの一例(実施例1)を示す図であって、(A)は、該マスクの平面図であり、(B)は、(A)のA-A線断面図である。

【図2】本発明のフォトマスク(実施例1)を用いて形成した0.18 $\mu$ mホールパターン(感光性樹脂パターン)を示す図(SEM写真)である。

【図3】透明基板のエッチング段差部での光の位相を模式的示した図である。

【図4】本発明のフォトマスク(実施例1)を用いて形成した0.2 $\mu$ mホールパターン(感光性樹脂パターン)を示す図(SEM写真)である。

【図5】本発明のフォトマスク(実施例1)に係る他の適用例を説明する図であって、スペースパターンの平面図

である。

【図6】図5と異なる他の適用例を説明する図であって、一定のピッチでアレイ状に配置したパターンの平面図である。

【図7】図5、図6と異なる他の適用例を説明する図であって、ある方向に周期性を持つパターンの平面図である。

【図8】0.2 $\mu$ mホールパターンの光強度分布シミュレーション結果を示す図である。

【図9】図8に続くシミュレーション結果を示す図である。

【図10】新コントラストの定義に用いたI maxおよびI edgeを説明する図であって、フォトマスクとその転写像の光強度分布および感光性樹脂のパターンを示す図である。

【図11】本発明のフォトマスク(実施例1)における新コントラストと位相差(メインパターンー補助パターン)の関係を示す図である。

【図12】通常のフォトマスク(補助パターン無し)と本発明のフォトマスク(位相差360度)との“新コントラストとデフォーカスの関係”を示す図である。

【図13】本発明に係るフォトマスクの他の例(実施例2)を示す図であって、(A)は、その平面図であり、(B)は、(A)のA-A線断面図である。

【図14】本発明に係るフォトマスクのその他の例(実施例3)を示す図であって、(A)は、その平面図であり、(B)は、(A)のA-A線断面図である。

【図15】本発明のフォトマスク(実施例3)を用いて形成した0.2 $\mu$ mホールパターン(感光性樹脂パターン)を示す図(SEM写真)である。

【図16】0.2 $\mu$ mホールの光強度分布シミュレーション結果を示す図である。

【図17】図16に続くシミュレーション結果を示す図である。

【図18】0.2 $\mu$ mホールパターンの新コントラストと位相差(メインパターンー補助パターン)の関係を示す図である。

【図19】本発明のフォトマスク(実施例3)と通常マスクにおける新コントラストとデフォーカスの関係を示す図である。

【図20】変形照明法の原理を説明する図であって、露光装置の主要光学系を示す図である。

【図21】従来の補助パターンマスクを説明する図であって、(A)は、該マスクの平面図であり、(B)は、(A)のA-A線断面図である。

【図22】従来のレベンソン方式位相シフトマスクの一例を説明する図であって、(A)は、該マスクの平面図、(B)は、(A)のA-A線断面図、(C)は、該マスクの透過光の振幅分布を示す図である。

【図23】従来のレベンソン方式位相シフトマスクの他

の例を説明する図であって、該マスクの縦断面図である。

【図 2 4】従来のレベンソン方式位相シフトマスクのその他の例を説明する図であって、該マスクの縦断面図である。

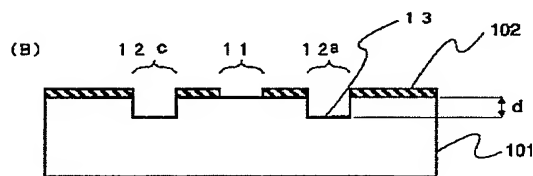
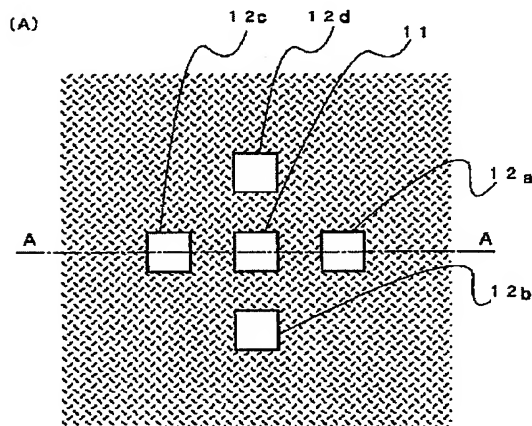
【図 2 5】従来の補助パターン方式位相シフトマスクを説明する図であって、(A)は、該マスクの平面図であり、(B)は、(A)の A-A 線断面図である。

【符号の説明】

- 10 フォトマスク
- 11 メインパターン
- 12, 12a~12d 補助パターン
- 13 エッチング段差部
- 14 開口パターン

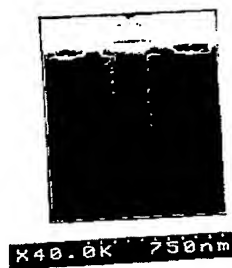
- 101 透明基板
- 102 遮光膜
- 103 半透明膜
- 104 透明膜
- 111 メインパターン
- 112 補助パターン
- 113, 123 エッチング段差部
- 114 開口パターン
- 210 フォトマスク
- 201 フライアイレンズ
- 202a, 202b 絞り
- 203 投影レンズ系
- 204 半導体基板
- 205 感光性樹脂

【図 1】



- 11: メインパターン
- 12: 補助パターン
- 13: エッチング段差部
- 101: 透明基板
- 102: 遮光膜

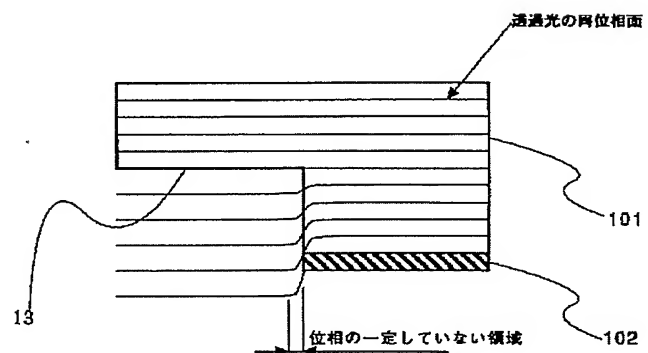
【図 2】



【図 4】

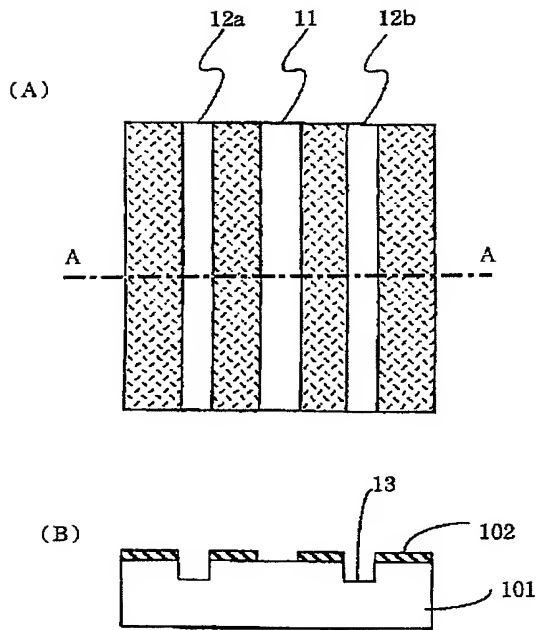


【図 3】



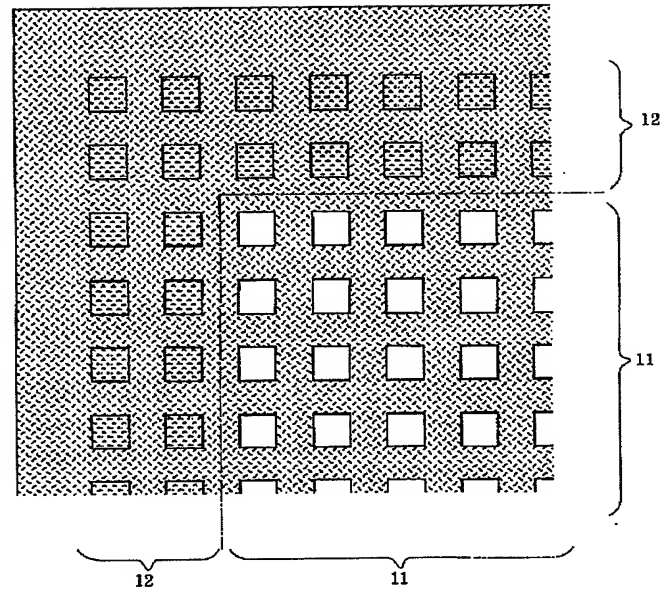
- 13: エッチング段差部
- 101: 透明基板
- 102: 遮光膜

【図5】



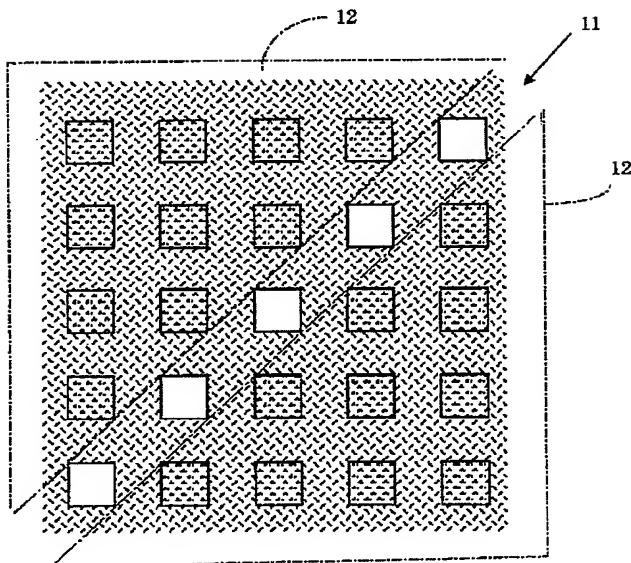
- 11: メインパターン  
 12a, 12b: 補助パターン  
 13: エッチング段差部  
 101: 透明基板  
 102: 遮光膜

【図6】



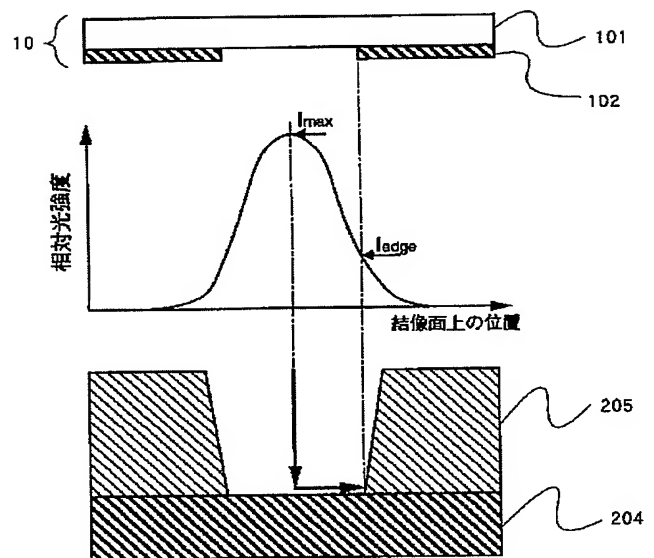
- 11: メインパターン  
 12: 補助パターン

【図7】



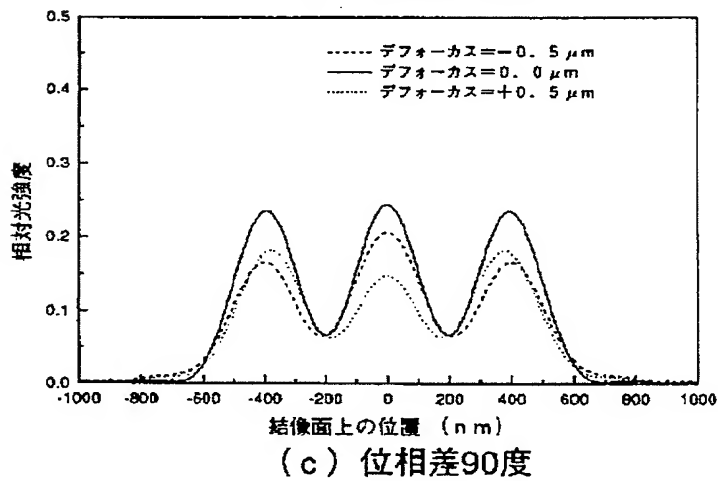
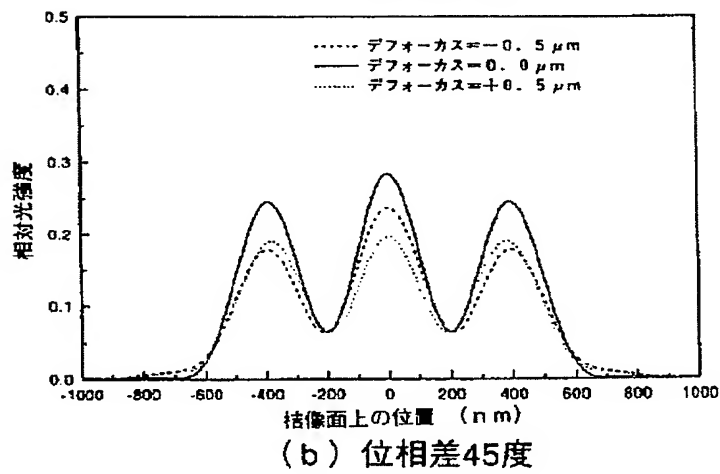
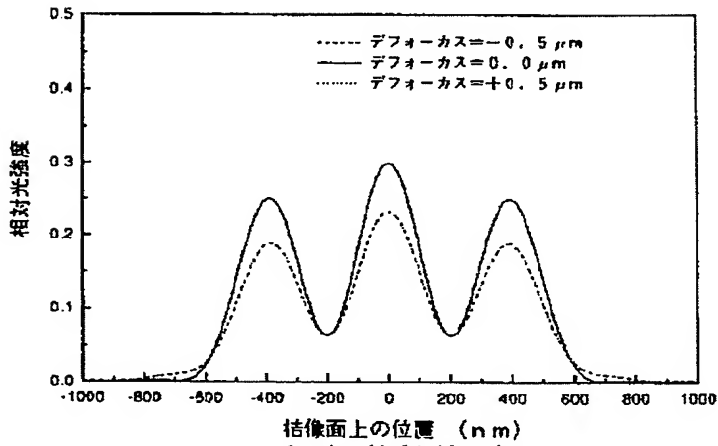
- 11: メインパターン  
 12: 補助パターン

【図10】



- 10: フォトマスク  
 101: 透明基板  
 102: 遮光膜  
 204: 半導体基板  
 205: 感光性樹脂

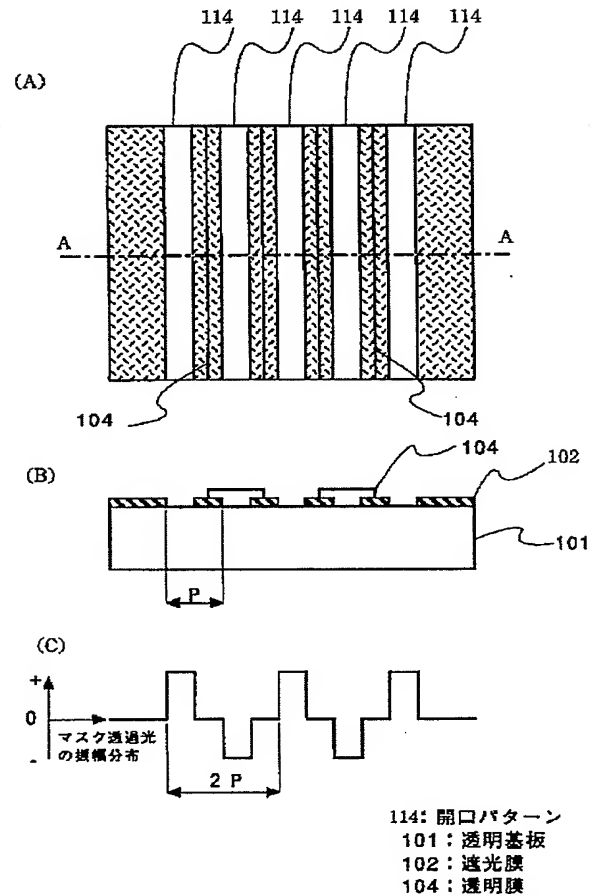
【図8】



【図15】

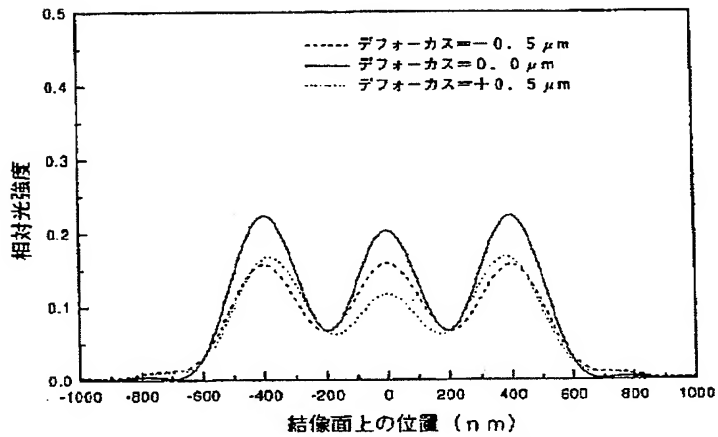


【図22】

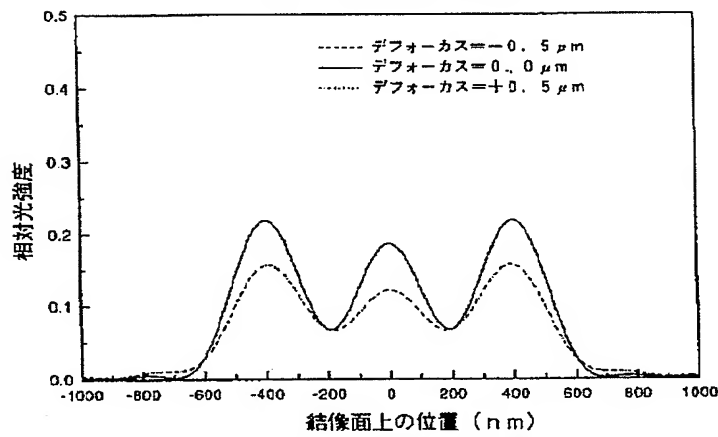




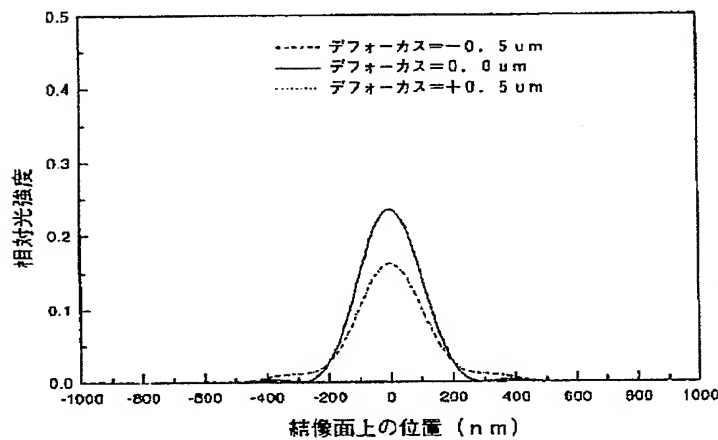
【図9】



(d) 位相差135度



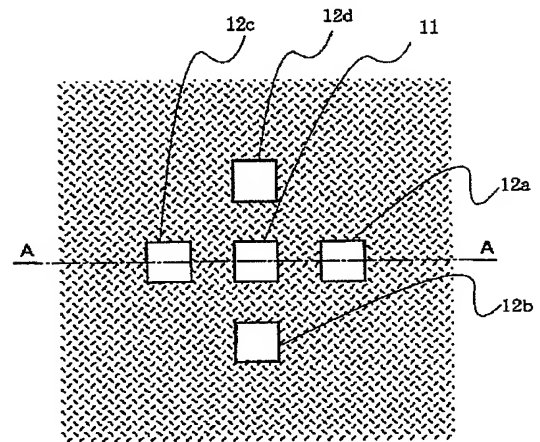
(e) 位相差180度



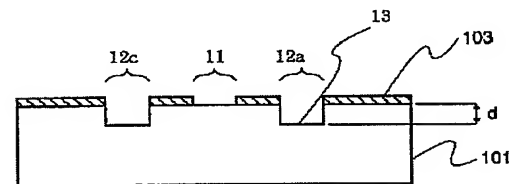
(f) 通常マスク

【図13】

(A)

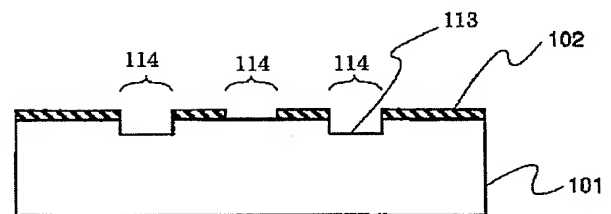


(B)



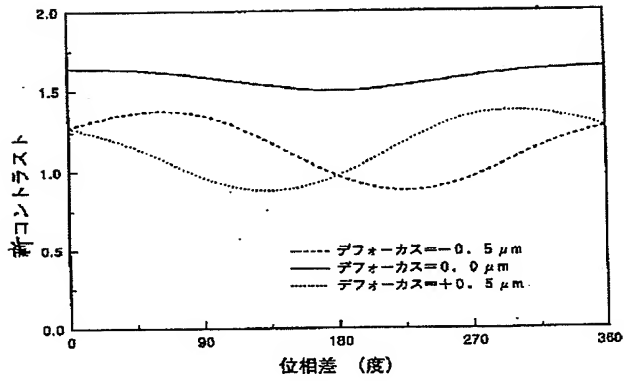
- 11: メインパターン  
 12a~12d: 補助パターン  
 13: エッチング段差部  
 101: 透明基板  
 103: 半透明膜

【図23】

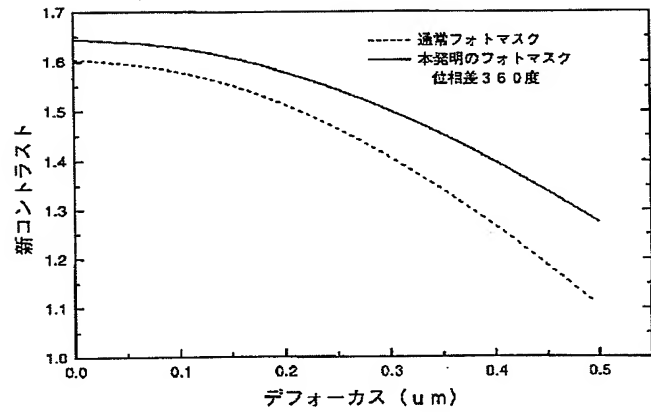


- 114: 開口パターン  
 113: エッチング段差部  
 101: 透明基板  
 102: 遮光膜

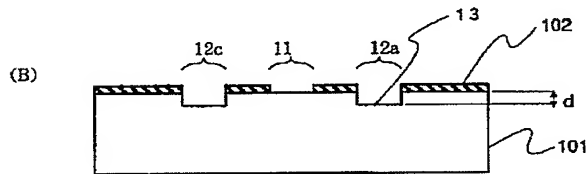
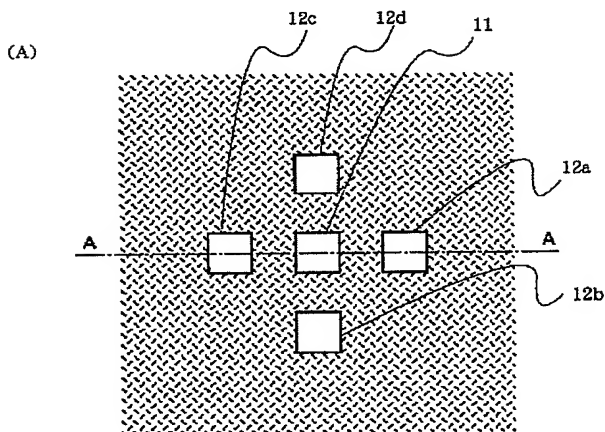
【図 11】



【図 12】

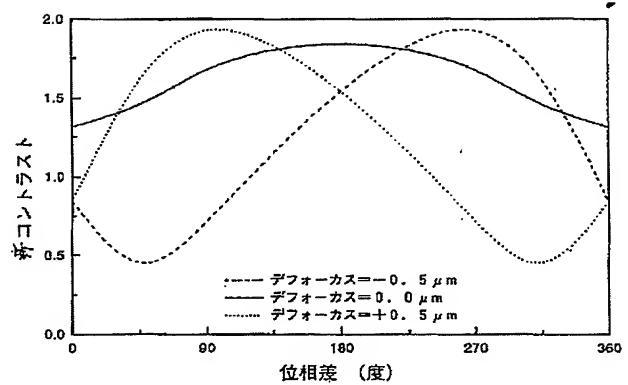


【図 14】

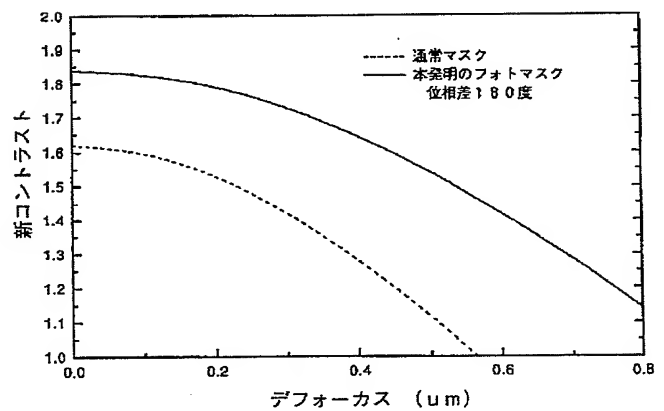


11: メインパターン  
 12a~12d: 補助パターン  
 13: エッチング段差部  
 101: 透明基板  
 102: 遮光膜

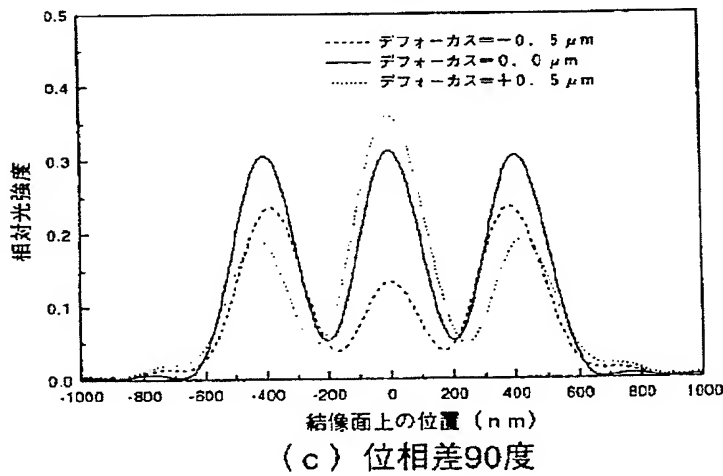
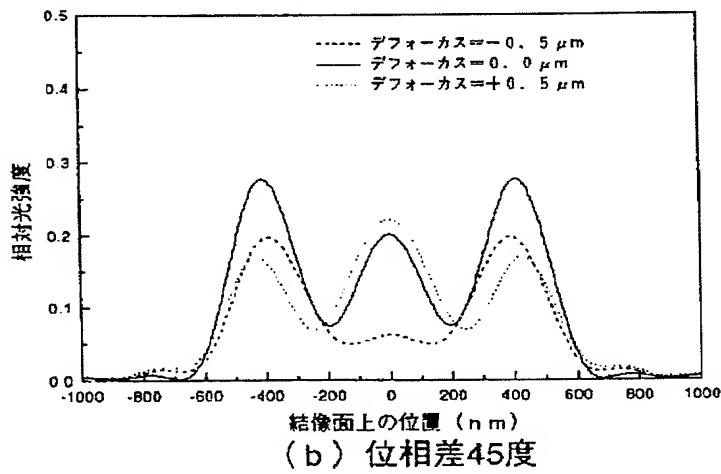
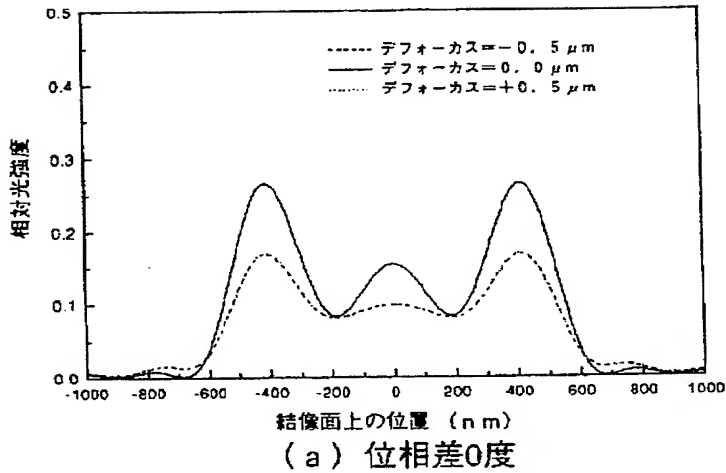
【図 18】



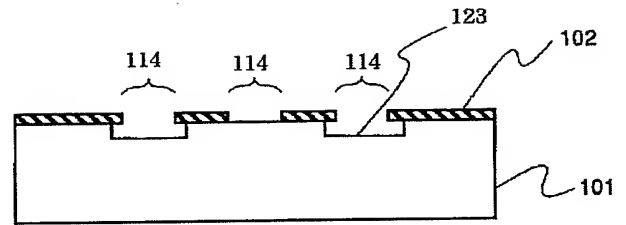
【図 19】



【図16】

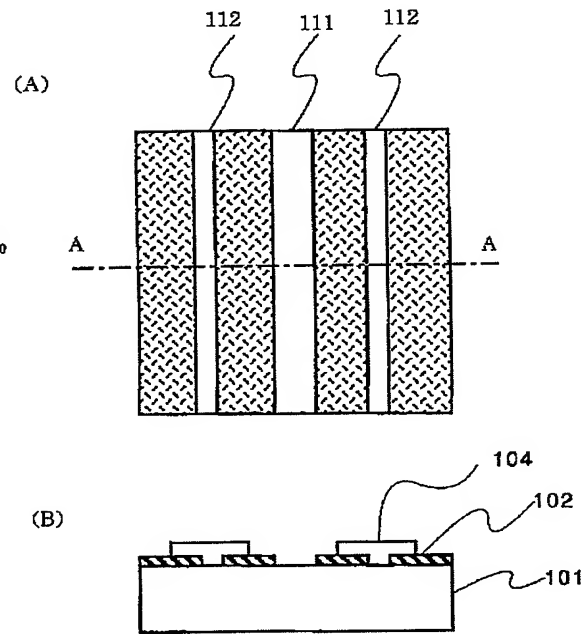


【図24】



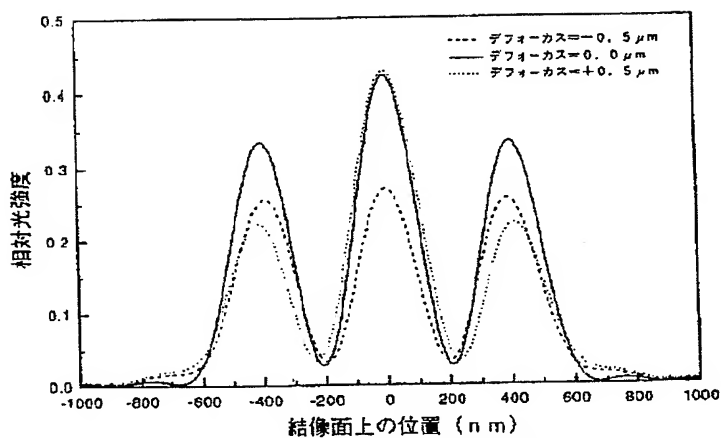
114: 開口パターン  
123: エッチング段差部  
101: 透明基板  
102: 遮光膜

【図25】

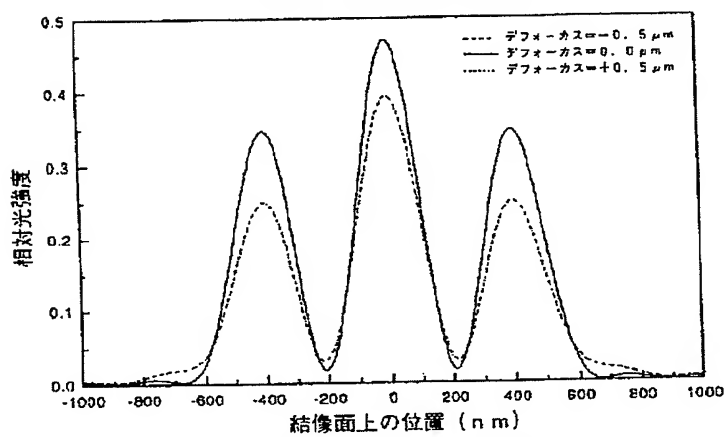


111: メインパターン  
112: 補助パターン  
101: 透明基板  
102: 遮光膜  
104: 透明膜

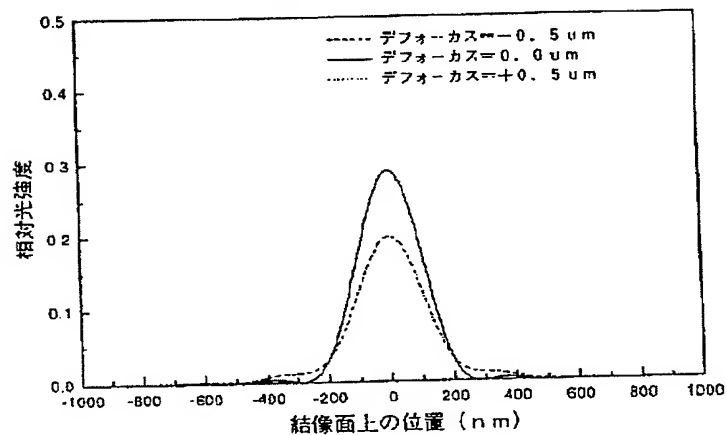
【図17】



(d) 位相差135度

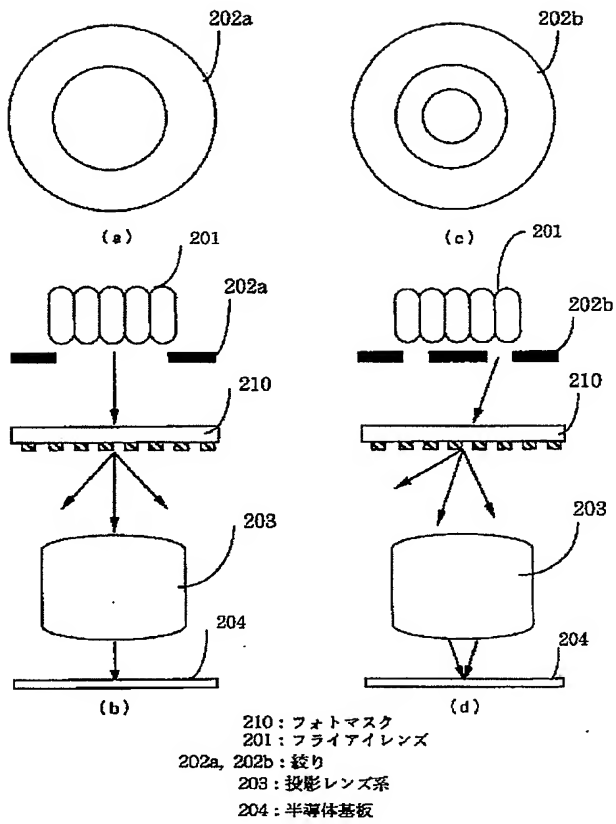


(e) 位相差180度



(f) 通常マスク

【図 20】



【図 21】

